



⑮ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 100 36 572 A 1**

⑤① Int. Cl.⁷:
H 01 M 8/02

⑳ Aktenzeichen: 100 36 572.8
㉔ Anmeldetag: 27. 7. 2000
㉕ Offenlegungstag: 14. 2. 2002

DE 100 36 572 A 1

㉚ Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

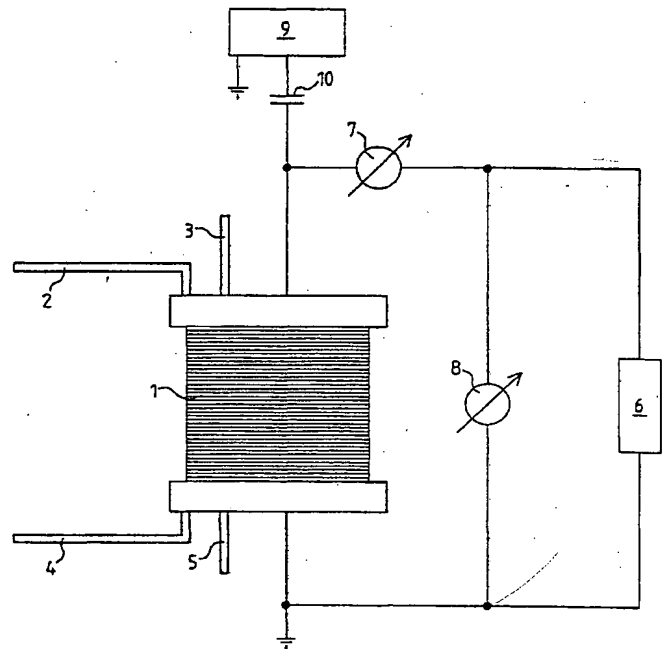
㉚ Erfinder:
Breuer, Norbert, Dr., 71254 Ditzingen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Brennstoffzellenanlage

⑤⑦ Es wird eine Brennstoffzellenanlage mit einer Brennstoffzelleneinheit (1) und einer Brennstoffbereitstellungseinheit, wobei eine Messeinheit (7, 8) zur Messung wenigstens eines ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit (1) vorgesehen ist, vorgeschlagen, die eine nahezu vollständige Überwachung des inneren Betriebszustandes der Brennstoffzelleneinheit (1) ermöglicht, wobei die Anzahl eingesetzter Sensoren (7, 8) und hierdurch die Komplexität der Anlage reduziert wird. Dies wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, dass eine Auswerteeinheit (7, 8, 9) zur Auswertung einer zeitlichen Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit (1) in Abhängigkeit einer bekannten, zeitlichen Änderung wenigstens eines zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen ist.



DE 100 36 572 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Brennstoffzellenanlage nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Stand der Technik

[0002] Brennstoffzellen sind elektrochemische Wandler von chemischer Energie in elektrische Energie. Eine Brennstoffzelle besteht aus einer Anode, in der ein Stoff elektrochemisch oxidiert wird, einer Kathode, an der ein weiterer Stoff elektrochemisch reduziert wird und einem Elektrolyten der einen ionischen Ladungstransport zwischen den beiden Elektroden erlaubt. Vereinfachend wird im Folgenden mit Brennstoff der zu oxidierende Stoff bezeichnet. Entsprechend soll ohne Beschränkung der Allgemeinheit mit dem Begriff "Luft" der zu reduzierende Stoff bezeichnet werden. Grundsätzlich kann es sich bei einer Brennstoffzelleneinheit sowohl um eine einzelne Brennstoffzelle als auch um eine elektrische und/oder elektrochemische Verschaltung mehrerer Einzelzellen handeln. Neben der elektrischen Verschaltung befindet sich in einer Brennstoffzelleneinheit bzw. in einem Brennstoffzellenstack auch eine Struktur, die der Versorgung der Elektroden mit Edukten und dem Abtransport von Produkten dient. Zu einer Brennstoffzellenanlage zählen neben dem Brennstoffzellenstack auch Peripheriekomponenten, die beispielsweise zur Gasversorgung, zum Wärmemanagement und zur Regelungstechnik des Stacks benötigt werden.

[0003] In herkömmlichen Brennstoffzellenanlagen werden häufig sogenannte PEM-Brennstoffzellen verwendet, die jedoch insbesondere auf Kohlenmonoxidanteile im wasserstoffreichen Medium mit einer CO-Belegung der katalytischen Kathode reagiert, so dass die Umsetzung von Wasserstoff an der Elektrode erschwert beziehungsweise verhindert wird. Diese CO-Belegung wird unter Fachleuten im Allgemeinen mit "Vergiftung" der Kathode bezeichnet. Aus diesem Grund müssen entsprechende Brennstoffzellenanlagen die Produktion eines weitestgehend kohlenmonoxidfreien, wasserstoffreichen Mediums gewährleisten. So wird bereits der Kohlenmonoxidanteil im wasserstoffreichen Reformat mit Hilfe von Reaktoren nahezu vollständig reduziert.

[0004] Die erreichbare Leistungsdichte, der Wirkungsgrad und die Lebensdauer von Brennstoffzelleneinheiten hängt sehr stark von deren Betriebsbedingungen ab. Relevante Betriebsparameter sind beispielsweise Temperatur, Druck, Gaszusammensetzung, Massenfluss der zugeführten Gasströme, die abgegebene elektrische Leistung und der äußere Widerstand. Diese Betriebsparameter beeinflussen einen inneren Betriebszustand der Brennstoffzelleneinheit, wobei dieser beispielsweise die Struktur und Oberflächenchemie der Katalysatoren sowie die Temperatur- und Stoffverteilung der Brennstoffzelleneinheit verändert.

[0005] Die erwähnte Abhängigkeit der PEM-Brennstoffzelleneinheit von der CO-Konzentration des Anodengases sowie die Feuchtigkeit sowohl des Anoden- als auch des Kathodengases sind besonders kritische Betriebsparameter, die in engen Grenzen gehalten werden müssen. So kann beispielsweise eine zu geringe Feuchtigkeit des Anodengases zum Austrocknen des Polymerelektrolyten und somit zu einer möglicherweise irreparablen Schädigung der Membran führen. Ist dagegen die Feuchtigkeit zu hoch, so kann sich die Porenstruktur der Elektroden über den optimalen Wert hinaus mit Wasser füllen, wodurch der Transport der Edukte zum Katalysator der Brennstoffzelleneinheit behindert wird. Beispielsweise wird die maximal mögliche Leistung der Brennstoffzelleneinheit durch eine Abweichung von den op-

timalen Werten der Betriebsparameter deutlich verringert.

[0006] Aus diesem Grund wird im Allgemeinen ein Satz von Betriebsparametern festgelegt, die durch Sensoren einzeln überwacht und mittels entsprechender Steuereinheiten, wie beispielsweise Ventile, Pumpen, Speichertanks oder dergleichen, geregelt werden. Diese können sowohl in der Brennstoffbereitstellungseinheit, das heißt in der Reformereinheit, einschließlich der nachgeschalteten Reaktorstufen, als auch in der Brennstoffzelleneinheit angeordnet sein.

[0007] Aus der großen Anzahl relevanter Betriebsparameter resultiert jedoch eine Fülle notwendiger Sensoren, so dass sich die Komplexität sowie ein wirtschaftlicher Betrieb entsprechender Brennstoffzellenanlagen nachteilig verändert.

[0008] So ist bereits bekannt, dass beispielsweise die Betriebsspannung (vgl. US 5,763,113) oder der Betriebsstrom (vgl. US 5,478,662) der Brennstoffzelleneinheit zur Steuerung der Brennstoffzellenanlage verwendet werden kann. Bei entsprechenden Vorrichtungen ist jedoch nachteilig, dass diese ausschließlich auf unkontrollierte Störungen der Brennstoffzelleneinheit oder der Brennstoffbereitstellungseinheit reagieren. Änderungen der gemessenen und ausgewerteten Betriebsparameter der Brennstoffzelleneinheit, die beispielsweise durch einen Lastwechsel hervorgerufen werden, werden hierbei nicht beziehungsweise gegebenenfalls als Störungen wahrgenommen. Teilweise wird, um diese Nachteile wieder etwas zu verringern, bei diesen Vorrichtungen eine vergleichsweise große Anzahl an Betriebsparametern gemessen und ausgewertet, was wiederum die Komplexität dieser Vorrichtungen nachteilig verändert.

Vorteile der Erfindung

[0009] Aufgabe der Erfindung ist es demgegenüber, eine Brennstoffzellenanlage der eingangs genannten Art vorzuschlagen, die eine nahezu vollständige Überwachung des inneren Betriebszustands der Brennstoffzelleneinheit ermöglicht, wobei die Anzahl eingesetzter Sensoren und hierdurch die Komplexität der Anlage reduziert wird.

[0010] Diese Aufgabe wird ausgehend von einem Stand der Technik der einleitend genannten Art durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

[0011] Durch die in den Unteransprüchen genannten Maßnahmen sind vorteilhafte Ausführungen und Weiterbildungen der Erfindung möglich.

[0012] Dementsprechend zeichnet sich eine erfindungsgemäße Brennstoffzellenanlage dadurch aus, dass eine Auswerteeinheit zur Auswertung einer zeitlichen Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit in Abhängigkeit einer bekannten, zeitlichen Änderung wenigstens eines zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen ist.

[0013] So werden erfindungsgemäß vorzugsweise mittels eines Modells des elektrochemischen Systems der Brennstoffzelleneinheit, das heißt z. B. mittels eines sogenannten Ersatzschaltbildes, die entsprechenden elektronischen Komponenten, wie zum Beispiel Widerstände und Kondensatoren, die mit elektrochemischen Prozessen im elektrochemischen Gesamtsystem korrelieren, bestimmbar, so dass der innere Zustand der Brennstoffzelleneinheit ermittelt werden kann. Hiermit wird in vorteilhafter Weise ermöglicht, dass Änderungen wie beispielsweise des Elektrolytwiderstandes, der Katalysatoraktivität oder des Stofftransports unabhängig voneinander auswertbar sind. Dadurch, dass gegebenenfalls für die genannten möglichen Änderungen jeweils kein spezieller Sensor nötig ist, verringert sich insbesondere der Aufwand zur Überwachung der Betriebsparameter des inneren Zustands der Brennstoffzelleneinheit.

[0014] Mit einer erfindungsgemäßen Auswerteeinheit ist eine Überwachung nahezu aller Betriebsparameter des inneren Betriebszustands der Brennstoffzelleneinheit bei gleichzeitiger Reduktion der Anzahl der Sensoren möglich.

[0015] Bei Brennstoffzellenanlagen, die häufigen Lastwechseln unterliegen, wie beispielsweise bei Fahrzeuganwendungen oder dergleichen, wird vorteilhafterweise bei einem Lastwechsel ein zweiter Betriebsparameter der Brennstoffzellenanlage, z. B. der sogenannte Lastwiderstand, mittels der Auswerteeinheit überwacht sowie bestimmt und die Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit ausgewertet. Hierbei ist der Wert bzw. Verlauf der zeitlichen Änderung des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage, beispielsweise die Veränderung des Lastwiderstandes, vergleichsweise einfach ermittelbar. Eine entsprechende Änderung ist gegebenenfalls durch ein Betätigen eines Betätigungselementes beispielsweise in Form eines "Gaspedals" bei einem Fahrzeug oder dergleichen realisierbar.

[0016] In einer besonderen Ausführungsform der Erfindung ist ein Generator zur Erzeugung einer bekannten, zeitlichen Änderung des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen. Hierdurch ist gewährleistet, dass bei allen Betriebszuständen der Brennstoffzellenanlage, das heißt auch bei statischem Einsatz, die inneren Betriebsparameter der Brennstoffzelleneinheit überprüfbar sind. Hierbei ist in vorteilhafter Weise sowohl eine vergleichsweise geringe und/oder kontinuierliche bzw. lang andauernde als auch vergleichsweise starke und/oder impulsartige Änderung des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage realisierbar.

[0017] Vorteilhafterweise ist der Generator wenigstens zur Erzeugung einer Änderung eines elektrochemischen Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage, wie beispielsweise der Betriebsspannung, des Betriebsstroms oder dergleichen, vorgesehen. Die durch den Generator hervorgerufene Änderung ist hierbei vergleichsweise gering, so dass der Betrieb der Brennstoffzellenanlage nicht nachteilig beeinflusst wird. Mit dieser Maßnahme ist in vorteilhafter Weise eine elektrische Überwachung der Brennstoffzellenanlage gewährleistet.

[0018] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist der Generator wenigstens zur Erzeugung einer Änderung eines nichtelektrischen Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen, wie beispielsweise der Druck, die Temperatur, die Feuchtigkeit oder die Zusammensetzung der Edukte.

[0019] Vorzugsweise erfolgt die bekannte, zeitliche Änderung wenigstens des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage zeitlich versetzt zu einer daran anschließenden Messphase des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit oder alternativ hierzu gleichzeitig. Letzteres bedeutet, dass die bekannte, zeitliche Änderung eines Betriebsparameters, beispielsweise eine Wechselspannung mit einer bekannten Frequenz, gegebenenfalls auf den entsprechenden Betriebsparameter, beispielsweise die Betriebsspannung, moduliert wird.

[0020] In einer besonderen Weiterbildung der Erfindung ist die Auswerteeinheit zum Vergleich der zeitlichen Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit mit einer Soll-Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit ausgebildet. Hierdurch ist in vorteilhafter Weise eine Diagnose des inneren Betriebszustands der Brennstoffzelleneinheit umsetzbar. So ist vorzugsweise eine Steuerung der Brennstoffzellenanlage realisierbar, bei der gegebenenfalls kurzfristige Überschreitungen von entsprechenden Betriebsparametern, beispielsweise der Brennstoffbereitstellungseinheit, tolerierbar sind, ohne

dass die Betriebsparameter der Brennstoffzelleneinheit nachteilig verändert werden. Das führt dazu, dass Störungen, die die zeitliche Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit lediglich innerhalb einer vorgegebenen Schwankungsbreite verändert, nicht behoben werden müssen. Dies wirkt sich in vorteilhafter Weise auf die Auslegung der Brennstoffzelleneinheit und in besonderem Maße auf die Auslegung der Brennstoffbereitstellungseinheit aus. Beispielsweise müssen gegebenenfalls kurzzeitige, kleinere Störungen, wie sie in derzeitigen Brennstoffbereitstellungseinheiten häufig auftreten, nicht ausgeglichen werden. Vorteilhafterweise kann hierdurch eine aufwendige Überwachung oder Unterdrückung, einschließlich der Veranlassung und Umsetzung notwendiger Gegenmaßnahmen, entsprechender Störungen entfallen, was sich insbesondere positiv auf die Auslegung unterschiedlichster Komponenten der Brennstoffzellenanlage auswirkt.

[0021] Vorzugsweise umfasst die Auswerteeinheit wenigstens eine Filtervorrichtung zur Trennung der durch die Änderung des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage hervorgerufene Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit von Änderungen anderer Betriebsparameter der Brennstoffzellenanlage. Bei periodischen Änderungen kann dieser Filter beispielsweise als Lockin-Verstärker ausgebildet werden. Hierdurch wird in vorteilhafter Weise gewährleistet, dass die Änderung des ersten Betriebsparameters, die durch die bekannte, zeitliche Änderung des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage hervorgerufen wird, ermittelt werden kann, selbst wenn beispielsweise in der Brennstoffbereitstellungseinheit zur gleichen Zeit eine Störung auftritt. So ist insbesondere durch die Filtervorrichtung die Unterscheidung zwischen Signal- und Rauschverhalten deutlicher verbessert.

[0022] Erfindungsgemäß ist zum Beispiel eine Druckoszillation eines Eduktstromes mit einem definierten Frequenzspektrum gegebenenfalls mittels einer Lockin-Verstärkung aus dem Strom- oder Spannungssignal der Brennstoffzelleneinheit heraus filterbar, wobei für die weitere Auswertung und Regelung vorteilhafterweise ausschließlich die Frequenzen des Messsignals, das heißt der Druckoszillation, verwendet werden.

[0023] In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst die Auswerteeinheit wenigstens eine Steuereinheit zur Steuerung der Brennstoffzelleneinheit. Hierdurch wird in vorteilhafter Weise gewährleistet, dass bei Ermittlung einer Störung der Brennstoffzelleneinheit gegebenenfalls Maßnahmen veranlasst werden, zum Beispiel Einkoppeln eines Reinigungsgases, wie Luft oder dergleichen, das zur Oxidation einer CO-Adsorptionsschicht in die Brennstoffzelleneinheit eingeleitet wird, so dass sich die CO-Adsorptionsschicht abbaut und somit ein Leistungsabfall der Brennstoffzelleneinheit beseitigt wird. Vorzugsweise sind erfindungsgemäß hochempfindliche CO-Sensoren im Anodengasbereich und die hiermit verbundenen Kosten vermeidbar.

[0024] In einer besonderen Weiterbildung der Erfindung umfasst die Auswerteeinheit wenigstens eine Steuereinheit zur Steuerung der Brennstoffbereitstellungseinheit. Mit dieser Maßnahme können beispielsweise bei Ermittlung einer Abweichung der zeitlichen Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit mit einer entsprechenden Soll-Änderung und einer hierdurch lokalisierten Störung innerhalb der Brennstoffbereitstellungseinheit vorteilhafte Gegenmaßnahmen veranlasst werden. Diese Gegenmaßnahmen verändern die Betriebsbedingungen der Brennstoffbereitstellungseinheit beispielsweise mittels Betätigung von Ventilen, Erwärmung entsprechender Komponenten, Zudosierung weiterer Betriebsstoffe oder dergleichen.

[0025] Vorzugsweise umfasst die Auswerteeinheit eine Aufzeichnungseinheit zur Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs wenigstens eines Betriebsparameters, so dass beispielsweise mittels eines abgespeicherten Kennlinienfeldes oder eines integrierten Expertensystems oder dergleichen eine vorteilhafte Steuerung der Brennstoffzellenanlage realisierbar ist.

[0026] In bevorzugter Weise wird die Steuerung der Brennstoffzellenanlage in Form von fest programmierten Regelvorschriften, über eine adaptive Regelstrategie oder ähnlichem umgesetzt. Gegebenenfalls arbeitet die Auswerteeinheit hierbei mit einer "Fuzzy-Logic". Hierdurch ist eine vorteilhafte Diagnose und Steuerung realisierbar.

[0027] In einer besonderen Weiterbildung der Erfindung umfasst die Auswerteeinheit eine Vorrichtung zur externen Darstellung des Betriebszustands der Brennstoffzellenanlage, beispielsweise zur Visualisierung des Betriebszustandes für den Benutzer oder für das technische Überwachungspersonal. So ist unter anderem die Wartung und Reparatur einer erfindungsgemäßen Brennstoffzellenanlage in vorteilhafter Weise verbessert, da diese den Verlauf der Betriebsparameter für diesen Verwendungszweck protokollieren bzw. aufzeichnen kann. Gegebenenfalls ist aus dem zeitlichen Verlauf der Betriebsparameter bzw. des Betriebszustands auf mögliche schadhafte oder verschleiße Komponenten der Brennstoffzellenanlage rückzuschließen.

[0028] Erfindungsgemäß können Störungen, die durch eine Veränderung der Betriebsparameter nicht behoben werden können, wie beispielsweise das Erkennen einer Leckage, dazu führen, dass die fehlerhafte Brennstoffzelleneinheit bzw. Brennstoffzelle in einen sicheren Betriebszustand überführt wird. In einem Verbund mit weiteren Brennstoffzelleneinheiten bzw. anderen Brennstoffzellen oder anderen Stromerzeugern ist das Gesamtsystem hierdurch bestmöglich zu betreiben.

Ausführungsbeispiel

[0029] Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand der Figuren nachfolgend näher erläutert.

[0030] Im einzelnen zeigen

[0031] Fig. 1 eine schematische Ankopplung eines Impedanzsystems an eine erfindungsgemäße Brennstoffzelleneinheit und

[0032] Fig. 2 eine schematische Ankopplung eines weiteren Impedanzsystems an eine erfindungsgemäße Brennstoffzelleneinheit.

[0033] In Fig. 1 ist eine Brennstoffzelleneinheit 1 mit einer Anodengaszufuhr 2, einer Anodenabgasleitung 3 sowie einer Kathodengaszufuhr 4 und einer Kathodenabgasleitung 5 dargestellt. Ein elektrischer Verbraucher 6 ist als Lastwiderstand 6 dargestellt. Weiterhin ist eine Strommessvorrichtung 7 sowie eine Spannungsmessvorrichtung 8 zur Messung entsprechender Betriebsparameter der Brennstoffzelleneinheit 1 aufgeführt.

[0034] Das Ausführungsbeispiel der Fig. 1 basiert auf der Verwendung der Impedanzspektroskopie mittels einer kapazitiven Ankopplung 10 einer Impedanzmessvorrichtung 9, wobei auch eine induktive Ankopplung realisierbar ist. Es ist bekannt, dass sich die frequenzabhängige Impedanz von Brennstoffzelleneinheiten 1 über elektrotechnische Ersatzschaltbilder modellieren lässt. Das Ersatzschaltbild besteht aus einem Netzwerk von ohmschen, kapazitiven und induktiven Widerständen sowie weiteren komplexwertigen Widerständen, die beispielsweise den Stofftransport oder die Katalysatordesaktivierung beschreiben. Häufig werden die Werte des Widerstandnetzwerks über Messdaten des Impe-

danzspektrums angepasst, wobei die hierdurch ermittelten Werte den inneren Betriebszustand der Brennstoffzelleneinheit 1 modellhaft repräsentieren.

[0035] Erfindungsgemäß wird beispielsweise für mehrere, z. B. zehn verschiedene, Frequenzen eine Wechselspannung auf die Spannung der Brennstoffzelleneinheit 1 überlagert bzw. aufgeprägt. Erfindungsgemäß wird die entsprechende Stromantwort mittels der Strommessvorrichtung 7 aufgezeichnet. Hierbei kann der Messvorgang entweder sequenziell, das heißt nacheinander, oder bei Verwendung eines entsprechenden Filters, beispielsweise eines Log-In-Verstärkers, durch Überlagerung der Messsignale mit dem Betriebssignal auch gleichzeitig erfolgen.

[0036] Aus dem Verhältnis der Stromantwort zum Anregungsspannungssignal lässt sich die komplexwertige Impedanz für die gewählten Frequenzen ermitteln. Durch den so gewonnenen Datensatz werden die Werte des Widerstandnetzwerks der Brennstoffzelleneinheit 1 berechnet. Anschließend werden diese Werte interpretiert, das heißt, dass in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Brennstoffzelleneinheit 1 sich die Widerstandswerte in eng begrenzten Parameterintervallen befinden und ein Überschreiten der Parametergrenzen auf einen nicht optimalen oder fehlerhaften Betriebszustand der Brennstoffzelleneinheit 1 hinweist, der hierdurch identifiziert werden kann.

[0037] Gegebenenfalls mit Hilfe einer zu definierenden Maßnahmenmatrix können entsprechende Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Überschreitet beispielsweise der Wert, der im Widerstandnetzwerk dem ohmschen Elektrolitwiderstand entspricht, einen gewissen Schwellenwert, dann kann dies ein Hinweis auf eine mangelhafte Membranbefeuchtung darstellen. Entsprechend würde gegebenenfalls ein nicht dargestellter Befeuchter die Feuchtigkeit der Eduktsströme verändern. Ein System, das mit einer entsprechenden Maßnahmenmatrix arbeitet kann auch als sogenanntes "Expertensystem" bezeichnet werden, wobei dies beispielsweise einen Impedanzwertesatz als "gut" definiert und beim Vorliegen einer Überschreitung vorgegebener Werte der Betriebsparameter entsprechende Gegenmaßnahmen veranlässt.

[0038] Die Verwendung eines Widerstandnetzwerks als vermittelnde Abstraktionsebene ist in einer weiteren möglichen Ausführungsform der Erfindung verzichtbar. Dies ist deshalb zulässig, da es einen funktionalen Zusammenhang zwischen den ermittelten Impedanzwerten und den Werten des Widerstandnetzwerks sowie einen Zusammenhang zwischen den Werten des Widerstandnetzwerks und den zu veranlassenden Gegenmaßnahmen gibt, so dass diese Abbildungen auch miteinander verkettet werden können.

[0039] Weiterhin kann in einer besonderen Ausführungsform die Einkopplung eines Analysesignals entfallen, da in elektrochemischen Systemen Fluktuationen im Strom und in der Spannung auftreten, d. h. ein sogenanntes elektrochemisches Rauschen. Diese Schwankungen können in Relation zueinander gesetzt werden, wobei eine gute Näherung für den frequenzabhängigen Betrag der Impedanz gewonnen werden kann. Diese Werte können entsprechend den obigen Ausführungen zur Regelung der Brennstoffzellenanlage herangezogen werden.

[0040] Grundsätzlich lässt sich die zeitliche Veränderung eines elektrochemischen Betriebsparameters über eine Fouriertransformation in eine frequenzabhängige Darstellung überführen. Da gleichzeitig auch der Strom bzw. die Spannung des Systems auf die Änderung des elektrochemischen Parameters reagiert, lässt sich über eine zweite Fouriertransformation die Reaktion des Systems in Analogie zu den obigen Ausführungen im Frequenzraum analysieren und bewerten, wodurch entsprechende Gegenmaßnahmen veran-

lasst werden können.

[0041] Darüber hinaus besteht auch die Möglichkeit, das Zeitverhalten des beobachtenden Betriebsparameters direkt in eine funktionale Beschreibung zu überführen und die aus der Anpassung der Werte des Ersatzschaltbildes erhaltenen funktionalen Betriebsparameter als Ausgangspunkt für eine Betriebszustandsanalyse der Brennstoffzelleneinheit zu verwenden. So ist beispielsweise bekannt, dass bei einem potentiostatischen Spannungssprung die Stromantwort in den ersten Millisekunden durch die Änderung der Doppelschichtkapazität der Brennstoffzelleneinheit 1 bestimmt wird. Über längere Zeiten wird das Zeitverhalten durch Diffusionsprozesse bestimmt. Wird zum Beispiel bei einem Spannungssprung in anwachsender Richtung im Zeitbereich von 50 Millisekunden bis 1 Sekunde eine geringe Änderungsrate der Stromstärke festgestellt, dann ist dies ein Hinweis auf einen behinderten Stofftransport in der Brennstoffzelleneinheit 1. Gegebenfalls in Kombination mit anderen Messwerten, wie beispielsweise der Temperatur der Brennstoffzelleneinheit, dem Druck der Edukte oder dergleichen, könnte die Diagnose deshalb beispielsweise Überflutung der Porenstruktur durch zu hohen Wassereintrag sein. Mögliche Gegenmaßnahmen wären die Verringerung der Befeuchtung oder die Erhöhung der Temperatur der Brennstoffzelleneinheit 1, wobei letzteres zu einem stärkeren Wasseraustrag aus der Brennstoffzelleneinheit 1 in Folge von Verdunstung führt.

[0042] Eine entsprechende Analyse vergleichsweise großer Änderungen der Betriebsparameter der Brennstoffzelleneinheit 1 ist beispielsweise mittels der in Fig. 2 dargestellten Anordnung realisierbar. So kann beispielsweise durch die Einkopplung eines Bypasswiderstandes 13 mittels einer Steuervorrichtung 11 und einem Transistor 12 eine vergleichsweise große, sprunghafte Änderung des Stroms der Brennstoffzelleneinheit 1 vorgenommen werden (galvanostatischer Sprung). Durch die Analyse des zeitlichen Verlaufs der Zellspannung kann wiederum auf den Betriebszustand der Brennstoffzelleneinheit 1 zurückgeschlossen werden. Hierbei sollte ein entsprechendes Kontrollsystem sicherstellen, dass die äußere Funktion der Brennstoffzelleneinheit 1 nicht beeinträchtigt wird.

[0043] Entsprechend große Änderungen eines Betriebsparameters sollten deshalb nicht im Vollastbetrieb durchgeführt werden. Erfindungsgemäß wird eine Brennstoffzelleneinheit 1 unter verschiedenen Lastzuständen bezüglich seines Zeitverhaltens charakterisiert, wobei die so gewonnenen Parametersätze in einer Datenbank abgespeichert werden. Hierdurch wird gewährleistet, dass während des Betriebs Abweichungen vom Idealzustand über die Beobachtung des Lastwechselverhaltens selektiert werden. Das ermittelte Lastwechselverhalten wird mit den abgespeicherten Werten verglichen. Beispielsweise über einen Vergleich mit bekannten Mustern, das heißt mittels eines sogenannten "Pattern-Matching", oder mittels einer funktionalen Analyse ist feststellbar, ob das ermittelte Verhalten einem ordnungsgemäßen Zustand der Brennstoffzelleneinheit 1 entspricht oder in welche Richtung sich der Betriebszustand vom Soll-Zustand entfernt hat. Diese Vorgehensweise ist besonders bei hochdynamischen Systemen, bei denen Lastwechsel häufig auftreten, wie zum Beispiel in einem Fahrzeug, besonders vorteilhaft.

Bezugszeichenliste

- 1 Brennstoffzelleneinheit
- 2 Anodengaszufuhr
- 3 Anodenabgasleitung
- 4 Kathodengaszufuhr

- 5 Kathodenabgasleitung
- 6 Lastwiderstand
- 7 Strommessvorrichtung
- 8 Spannungsmessvorrichtung
- 9 Impedanzmessvorrichtung
- 10 Einkopplung
- 11 Steuervorrichtung
- 12 Transistor
- 13 Bypasswiderstand

Patentansprüche

1. Brennstoffzellenanlage mit einer Brennstoffzelleneinheit (1) und einer Brennstoffbereitstellungseinheit, wobei eine Messeinheit (7, 8) zur Messung wenigstens eines ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit (1) vorgesehen ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Auswerteeinheit (7, 8, 9) zur Auswertung einer zeitlichen Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit (1) in Abhängigkeit einer bekannten, zeitlichen Änderung wenigstens eines zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen ist.
2. Brennstoffzellenanlage nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Generator zur Erzeugung einer bekannten, zeitlichen Änderung des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen ist.
3. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Generator wenigstens zur Erzeugung einer Änderung eines elektrochemischen Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen ist.
4. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Generator wenigstens zur Erzeugung einer Änderung eines nichtelektrischen Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage vorgesehen ist.
5. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7, 8, 9) zum Vergleich der zeitlichen Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit (1) mit einer Soll-Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit (1) ausgebildet ist.
6. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7, 8, 9) wenigstens eine Filtervorrichtung zur Trennung der durch die Änderung des zweiten Betriebsparameters der Brennstoffzellenanlage hervorgerufene Änderung des ersten Betriebsparameters der Brennstoffzelleneinheit (1) von Änderungen anderer Betriebsparameter der Brennstoffzellenanlage umfasst.
7. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7, 8, 9) wenigstens eine Steuereinheit zur Steuerung der Brennstoffzelleneinheit (1) umfasst.
8. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7, 8, 9) wenigstens eine Steuereinheit zur Steuerung der Brennstoffbereitstellungseinheit umfasst.
9. Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswerteeinheit (7, 8, 9) eine Aufzeichnungseinheit zur Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs wenigstens eines Betriebsparameters umfasst.
10. Fahrzeug mit einer Brennstoffzellenanlage, da-

durch gekennzeichnet, dass eine Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche vorgesehen ist.

11. Generatoranlage mit einer Brennstoffzellenanlage, dadurch gekennzeichnet, dass eine Brennstoffzellenanlage nach einem der vorgenannten Ansprüche vorgesehen ist. 5

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

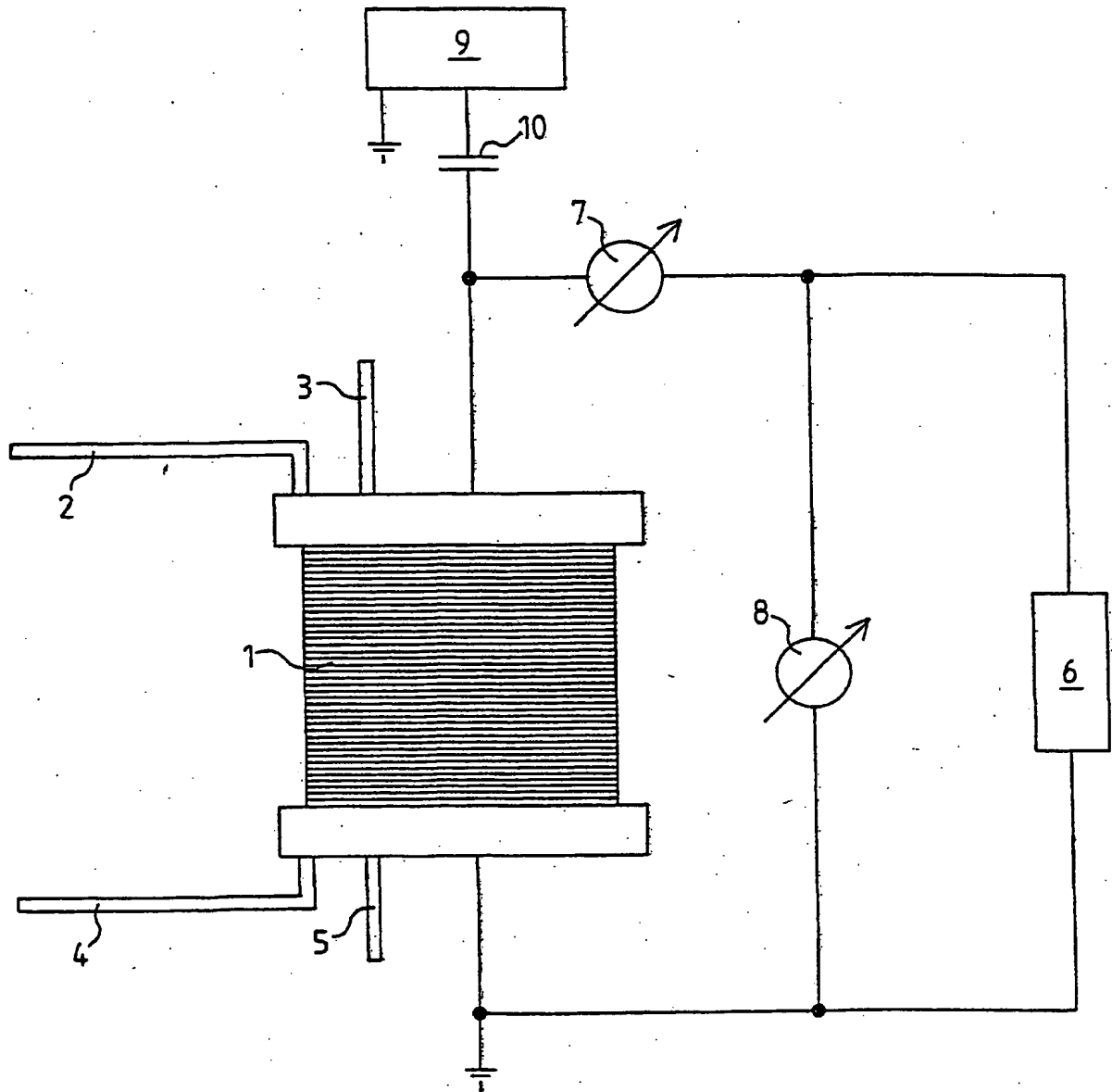


Fig. 1

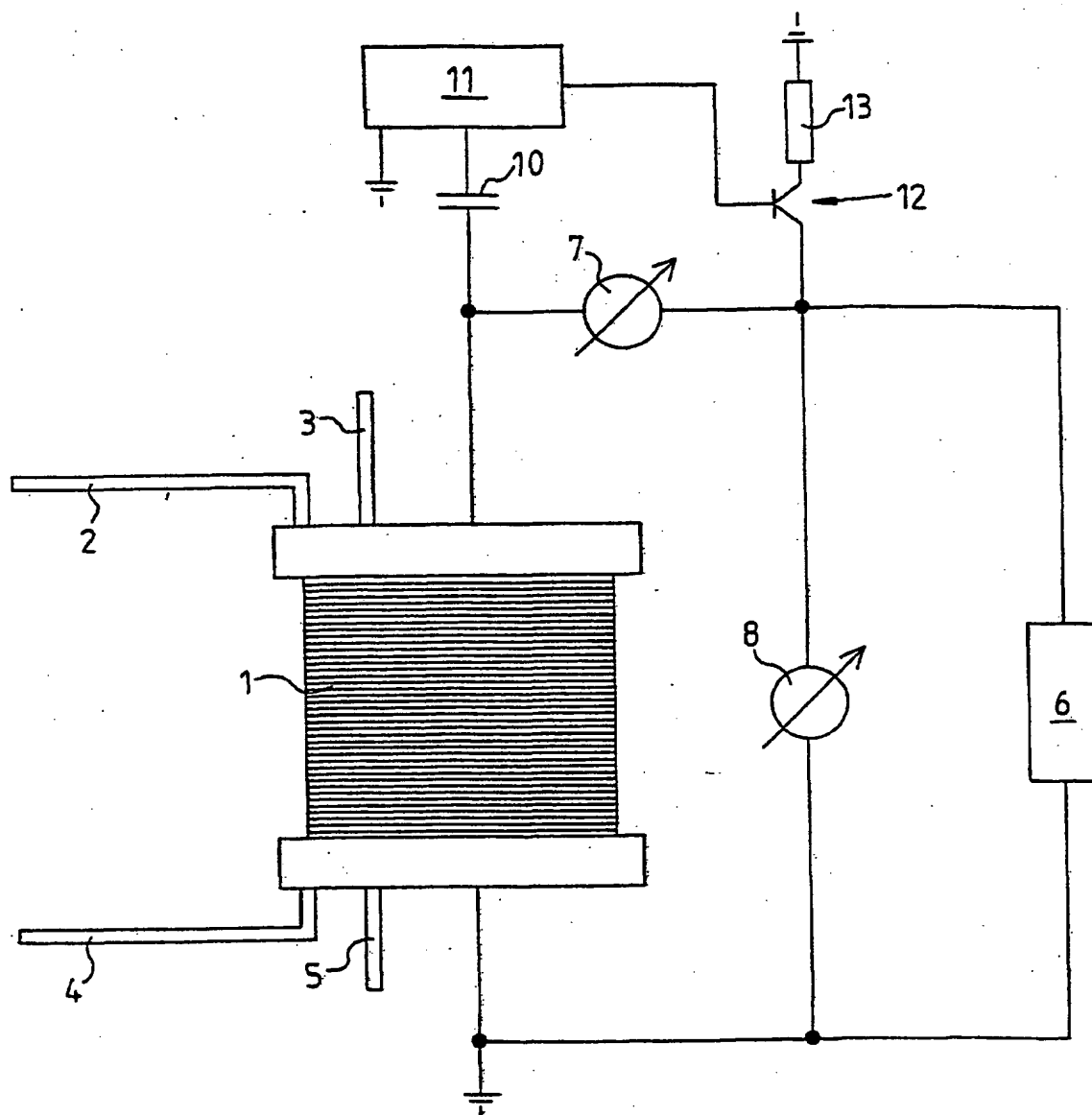


Fig. 2